

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2018, nr 107, s. 5–18

DOI: 10.24425/123722

Krzysztof KWAŚNIEWSKI¹, Paweł GRZESIAK¹, Radosław KAPŁAN¹

Ocena efektywności ekonomicznej procesu zgazowania odpadów komunalnych i przemysłowych

Streszczenie: Niniejsza publikacja przedstawia ocenę efektywności ekonomicznej hipotetycznej instalacji zgazowania odpadów komunalnych i przemysłowych do produkcji gazu procesowego wykorzystywanego w dalszej kolejności do produkcji energii bądź produktów chemicznych. W pierwszej części pracy przedstawiono przykładowy układ technologiczny energochemicznego przetwarzania mułu węglowego i odpadów komunalnych, bazujący na procesie zgazowania z wykorzystaniem reaktora fluidalnego. Hipotetyczna instalacja składa się z dwóch głównych bloków: przygotowania paliwa oraz zgazowania. W bloku przygotowania paliwa realizowane są operacje przyjęcia surowców, ich magazynowania (składowania), a następnie podjęcia, mielenia, mieszania, suszenia oraz transportu paliwa do bloku zgazowania. W bloku zgazowania realizowane są operacje zgazowania paliwa, produkcji tlenu, chłodzenia i oczyszczania surowego gazu procesowego oraz obróbki popiołu. W dalszej części szczegółowo opisano kluczowe założenia dotyczące prowadzonego procesu zgazowania, a także oszacowano nakłady inwestycyjne oraz koszty operacyjne związane z prowadzeniem procesu. W konsekwencji bazując na metodzie zdyskontowanych przepływów pieniężnych, wyznaczono jednostkowy koszt wytworzenia energii zawartej w gazie syntezowym (cost of energy, COE) oraz dokonano interpretacji wyników. Celem uzyskania akceptowalnej efektywności procesu zgazowania paliw odpadowych do produkcji alternatywnego paliwa, gazu procesowego, konieczne jest uzupełnienie mieszanki miał-muł domieszką RDF. W takim przypadku jednostkowy koszt paliwa mierzony wskaźnikiem zł/GJ jest niższy niż w przypadku węgla kamiennego a porównywalny z węglem brunatnym. Wykorzystanie mułów węglowych do produkcji gazu procesowego w sposób efektywny ekonomicznie jest możliwe jedynie w przypadku zmian w systemie regulacji prawnych umożliwiających pobieranie opłat za utylizację odpadów przemysłowych – mułów węglowych.

Słowa kluczowe: efektywność, COE, technologie energetyczne, zgazowanie odpadów

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania w Energetyce, Kraków; e-mail: kkwasnie@zarz.agh.edu.pl; pgrzesia@zarz.agh.edu.pl; rkaplan@zarz.agh.edu.pl

The economic assessment of the municipal and industrial waste gasification process

Abstract: This publication presents an assessment of the economic efficiency of a hypothetical installation for the gasification of the municipal and industrial waste for the production of syngas used subsequently for the production of energy or chemical products. The first part of the work presents an example of a technological system for the energo-chemical processing of coal mud and municipal waste, based on the gasification process using a fluidized bed reactor. A hypothetical installation consists of two main blocks: a fuel preparation unit and a gasification unit. In the fuel preparation installation, reception operations take place, storage, and then grinding, mixing, drying and transporting fuel to the gasification unit. In the gasification installation, fuel gasification, oxygen production, cooling and purification of raw process gas and ash treatment are carried out. The following key assumptions regarding the gasification process, as well as the capital expenditures and operating costs related to the process, were estimated. Consequently, based on the method of discounted cash flows, the unit cost of generating energy contained in the synthesis gas (cost of energy, COE) was determined and the results were interpreted. In order to obtain an acceptable efficiency of the gasification process for waste fuels for the production of alternative fuel (process gas), it is necessary to supplement the mixture of waste coal and coal mud with the RDF. In this case, the unit cost of fuel measured by the PLN/GJ index is lower than in the case of hard coal and comparable with brown coal. The use of coal mud for the production of process gas in an economically efficient way is possible only in the case of changes in the legal system allowing for charging fees for the utilization of industrial waste – coal mud.

Keywords: efficiency, COE, energy technologies, municipal waste gasification

Wprowadzenie

Odpady są nieuniknionym produktem ubocznym działalności człowieka, a rosnące standardy życia doprowadziły do wzrostu ilości i złożoności wytwarzanych odpadów. Dywersyfikacja przemysłu i rozbudowane zakłady opieki zdrowotnej rok do roku zwiększają ilości odpadów przemysłowych i biomedycznych. Składowiska odpadów są rozciągane do granic możliwości, a lokalizacja nowych obszarów pod tego typu inwestycje coraz trudniejsza. Dlatego też zarządzanie i bezpieczne usuwanie rosnącej ilości odpadów jest niezwykle ważne.

Konwencjonalne technologie energetycznego przetwarzania odpadów komunalnych, polegające na ich spalaniu – generują znaczące ilości zanieczyszczeń środowiskowych, przyczyniają się tym samym do wzrostu ilości gazów cieplarnianych. W celu zmniejszenia negatywnych oddziaływań sektora energetycznego na środowisko europejskie instytucje opracowały dokumenty, zakładające cele związane z dekarbonizacją nie tylko sektora energetycznego, ale także budownictwa i transportu (Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii (2006), Pakiet energetyczny (2007), Europejska polityka energetyczna, Pakiet liberalizacyjny (2007) oraz Pakiet klimatyczny (2008). Jednocześnie, w 2015 roku weszło w życie Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (2015), zgodnie z którym od 1 stycznia 2016 r. obowiązuje zakaz składowania odpadów o ciepłe spalania powyżej 6 MJ/kg suchej masy, co potencjalnie oznacza zakaz składowania odpadowych mułów węglowych. Muł o drobnej granulacji i dużej zawartości wilgoci ma potencjał zastosowania w energetyce (jako dodatkowe paliwo), jednak charakterystyka takiego paliwa bardzo utrudnia jego spalanie. Oznacza to konieczność odpowiedniego przygotowania mułu przed jego wprowa-

dzeniem do paleniska kotła, na co pozwala jego wcześniejsze zgazowanie. Zastosowanie technologii zgazowania w takim układzie umożliwia nie tylko stosunkowo łatwe wprowadzenie energii chemicznej mułu oraz paliwa z odpadów (*Refuse-Derived Fuel* – RDF) do istniejącego kotła pyłowego, ale również pozwala zmniejszyć emisję ditlenku węgla.

Zgazowanie jest unikalnym procesem, który przekształca każdy materiał na bazie węgla, taki jak komunalne odpady stałe, odpady rafineryjne, odpady górnicze oraz przemysłowe w czystą energię. Początkowo proces zgazowania był stosowany do węgla jako środek produkcji paliwa, chemikaliów i energii elektrycznej, jednak sam proces zgazowania znacznie się zmienił pod względem wykorzystania surowców innych niż węgiel, a także technologii stosowanych w procesie. Aby zrozumieć zalety zgazowywania odpadów w porównaniu z klasycznym spalaniem, należy uwzględnić różnice między tymi dwoma procesami.

Spalanie, które ma miejsce w operacjach usuwania odpadów, wykorzystuje je jako paliwo. Odpady są spalane z dużą ilością powietrza w celu wytworzenia ditlenku węgla i ciepła. W spalarniach odpadów gorące produkty gazowe są wykorzystywane do wytwarzania pary, która jest następnie wykorzystywana w turbinie parowej do wytwarzania energii elektrycznej. Z drugiej strony gazyfikacja przekształca odpady w użyteczny gaz procesowy. W procesie zgazowania odpady nie są paliwem tylko surowcem do wysokotemperaturowego procesu konwersji chemicznej. W odniesieniu do usuwania odpadów gazyfikacja jest znacznie czystsza niż spalanie, odpady takie jak muły, RDF są skutecznie rozkładane na gaz procesowy, który można oczyścić i przetworzyć przed dalszym użyciem.

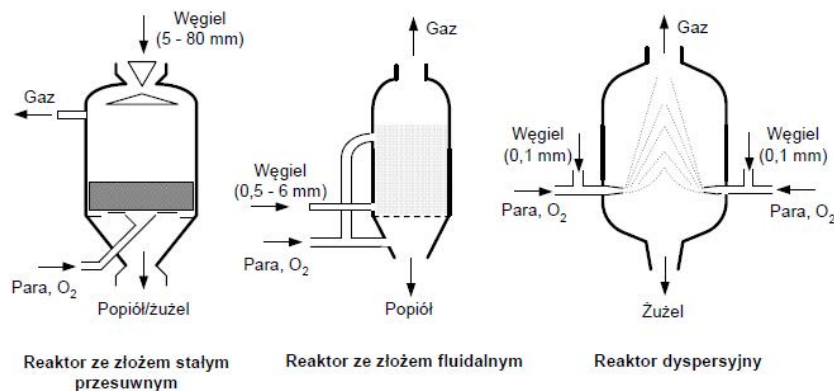
W artykule przedstawiono analizę ekonomiczną takiego właśnie układu technologicznego pozwalającego na zgazowania paliw węglowych i paliwa z odpadów (RDF) do produkcji surowego gazu procesowego.

1. Zgazowanie odpadów – zarys

Pod pojęciem zgazowania odpadów rozumie się zespół wielokierunkowych przemian termicznych i chemicznych, jakie zachodzą w podwyższonej temperaturze głównie między częścią organiczną substancji a takimi czynnikami jak tlen (O_2), para wodna (H_2O), ditlenek węgla (CO_2) lub dowolna ich mieszanina. Przemiany te prowadzą do wytworzenia palnego gazu stanowiącego paliwo lub surowiec chemiczny ze stałego paliwa (Szuba i Michalik 1983). Procesowi zgazowania, mogą zostać poddane węgiel kamienny i brunatny, muły, miały, torf, biomasa, koks naftowy, pozostałości rafineryjne, odpady, np. komunalne. Podstawową różnicą pomiędzy spalaniem a zgazowaniem węgla jest to, iż ten pierwszy bazuje tylko na reakcji częściowego utleniania, natomiast zgazowania bazuje na reakcji całkowitego ulatniania. Biorąc pod uwagę reaktywność paliwa, typ reaktora czy też założony produkt finalny możemy do zgazowani wykorzystać różne media (powietrze, powietrze i para wodna, tlen i para wodna, para wodna, wodór, czy ditlenek węgla) (Chmielniak i Ściążko 2008; ICHPW 2008).

1.1. Technologia zgazowania

Proces naziemnego zgazowania węgla prowadzi się w specjalnie do tego zaprojektowanych reaktorach. W zależności od struktury przepływu paliwa w strefie reakcyjnej konstrukcje reaktorów zgazowania można podzielić na trzy zasadnicze typy (IHPW 2008): reaktory ze złożem zwartym przesuwającym (*moving bed*), reaktory ze złożem fluidalnym (*fluidised bed*) oraz reaktory dyspersyjne (*entrained flow*). Schematy poszczególnych reaktorów zostały przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Typy reaktorów (IHPW 2008)

Fig. 1. Types of reactors

Z punktu widzenia zgazowania odpadów najczęściej stosowane typy to reaktory ze złożem zwartym oraz fluidalnym. W przypadku reaktora ze złożem przesuwającym typowym rozwiązaniem jest dozowanie surowca od góry, a wprowadzenie podmuchu powietrznego lub wzbogaconego w tlen od dołu. Przepływ medium zgazowującego odbywa się w przeciwnym kierunku do opadającego wraz z postępem zgazowania złożem materiału. Gaz procesowy jako produkt wyprowadza się od góry reaktora i z tego powodu zawierać może znaczne ilości węglowodorów kondensujących (smoły). Podstawową zasadą reaktora fluidalnego jest natomiast zapewnienie równowagi pomiędzy siłami grawitacji i unoszenia ziaren materiału wprowadzanego do reaktora. W rozwiązaniach stosowanych do termicznego przekształcania odpadów z uwagi na dużą niejednorodność wsadu stosuje się piasek jako stabilizator aerodynamiczny złoża fluidalnego, do którego wprowadza się odpady. Odpady te muszą być także odpowiednio przygotowane wcześniej, pod względem wielkości ziarna i zawartości wilgoci.

1.2. Surowce do zgazowania

Odpady komunalne są to odpady wytwarzane w gospodarstwach domowych oraz odpady wytwarzane w handlu detalicznym, przedsiębiorstwach, budynkach biurowych i in-

stytucjach edukacyjnych oraz opieki medycznej i administracji publicznej, o charakterze i składzie podobnym do odpadów wytwarzanych w gospodarstwach domowych.

Ilość oraz skład morfologiczny odpadów komunalnych w bardzo dużym stopniu zależą od miejsca ich powstawania (w tym od zamożności społeczności je wytwarzającej i związanego z nią poziomu konsumpcji wyrobów), ale także od pory roku. Ilość odpadów komunalnych zebranych, w przeliczeniu na jednego mieszkańca na rok jest silnie skorelowana z kondycją ekonomiczną poszczególnych regionów kraju. Wpływ na rodzaj i ilość wytwarzanych odpadów mają również: rodzaj obszaru (miasto, wieś), na którym są one wytwarzane, gęstość zaludnienia, typ zabudowy (jednorodzinna, wielorodzinna), obecność obiektów użyteczności publicznej oraz obecność, rodzaj, wielkość i ilość placówek handlowych i drobnego przemysłu lub usług.

Przeciętny skład frakcyjny odpadów komunalnych przedstawiony został w tabeli 1. Około połowę masy odpadów komunalnych stanowi papier, tektura, tworzywa sztuczne oraz

TABELA 1. Średni skład morfologiczny zmieszanych odpadów komunalnych

TABLE 1. The average morphological composition of mixed municipal waste

Frakcja	Udział [%]
Odpady organiczne	19,7
Papier, tektura	14,6
Tworzywa sztuczne	14,1
Frakcja <10 mm	9,6
Szkło	8,6
Frakcja 10–20 mm	8,1
Inne kategorie	5,9
Odpady spożywcze	5,4
Tekstylia	3,9
Odpady wielomateriałowe	3,6
Obojętne	3,3
Metale	2,0
Drewno	0,6
Odpady z parków i ogrodów	0,3
Odpady elektryczne i elektroniczne	0,27
Odpady niebezpieczne	0,02
Baterie	0,01
Suma	100

Źródło: MOŚ 2014.

odpady organiczne i inne spożywcze. Zdecydowanie najmniejszy udział stanowią odpady niebezpieczne, a także zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny oraz baterie.

W Regionalnych Instalacjach Przetwarzania Odpadów Komunalnych (tzw. RIPOK) z odpadów wydzielana jest frakcja nadsitowa. Stanowiąca około 30–45% strumienia wejściowego odpadów. Frakcja ta posiada zmienne parametry energetyczne na przestrzeni czasu (sezon letni i zimowy, wartość opałowa na poziomie 9–14 MJ/kg). Następnie poddawana jest ona sortowaniu na surowce oraz podsuszaniu. Pozostałe w ten sposób odpady stanowią surowiec do produkcji paliw alternatywnych RDF (*Refuse-Derived Fuel*). RDF składa się ze wspomnianych odpadów stałych, które są jednorodnie wymieszane. Mieszanka ta zawiera często udział paliwa stałego, ciekłego lub też biomasy.

Nazwa RDF w literaturze oraz nomenklaturze rynkowej określa paliwo alternatywne, natomiast nie podlega żadnej formalnej klasyfikacji jakościowej.

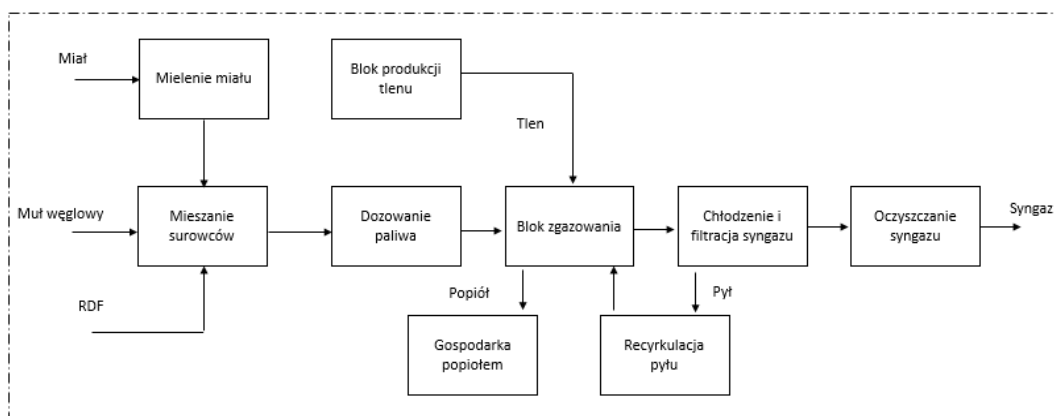
2. Studium przypadku – analizowany wariant

W artykule przedstawiono układ technologiczny zgazowania paliw węglowych i paliwa z odpadów (RDF) do produkcji surowego gazu. Zastosowanie tego rodzaju mieszanki paliwowej pozwala na uzyskanie korzyści gospodarczych, społecznych i ekologicznych z tytułu utylizacji mułów węglowych oraz RDF. Energetyczne wykorzystanie odpadowych paliw węglowych i przetworzonych odpadów, jako paliw alternatywnych RDF, staje się szansą biznesową (zagospodarowanie bieżąco produkowanych i składowanych mułów węglowych, dopłaty do utylizacji odpadów, zastępczej w stosunku do ich składowania), wartą wnikliwego przeanalizowania i rozpatrzenia, jako potencjalne przedsięwzięcie do ewentualnego wdrożenia, celem poprawy rentowności eksploatacji wybranych jednostek wytwórczych. Dodatkowo idea zastosowania reaktora zgazowania jako przedpaleniska niskojakościowych paliw węglowych i paliw alternatywnych oraz spalania powstałego gazu w jednostce kotłowej daje dodatkowe szanse biznesowe związane z podniesieniem elastyczności bloku oraz w przyszłości alternatywnym wykorzystaniem produkowanego gazu.

Hipotetyczna instalacja (założenia procesowe, bilanse materiałowe i bilanse energii oszacowano na podstawie prac i niepublikowanych materiałów (Chmielniak i Ściążko 2018b)) składa się zasadniczo z dwóch głównych bloków: bloku przygotowania paliwa oraz bloku zgazowania. W bloku przygotowania paliwa realizowane są operacje przyjęcia surowców, ich magazynowania (składowania), a następnie podjęcia, mielenia, mieszania, suszenia oraz transportu paliwa do bloku zgazowania. W bloku zgazowania realizowane są operacje zgazowania paliwa, produkcji tlenu, chłodzenia i oczyszczania surowego gazu procesowego oraz obróbki popiołu.

Surowcem do produkcji gazu surowego będzie mieszanina mułu węglowego, miazgi węglowej i RDF. Zakłada się, że w celu przygotowania surowca do zgazowania zrealizowane zostaną węzły technologiczne, takie jak: węzeł przygotowania paliwa (mielenie miazgi węglowej i komponowanie mieszanki paliwowej) oraz węzeł suszenia paliwa. Po zmieszaniu surowców oraz ich wysuszeniu mieszanka paliwowa kierowana jest do bloku zgazowania. W bloku zgazowania paliwo węglowe ulega w obecności tlenu konwersji na surowy gaz

procesowy. Proces zachodzi w temperaturze około 1000°C i pod ciśnieniem około 10 barów. Tlen do procesu zgazowania dostarczany jest z tlenowni, gdzie wytwarzany jest metodą separacji kriogenicznej składników powietrza. Surowy gaz procesowy poddawany jest odpyleniu w cyklonie i filtrze ceramicznym, a następnie wstępnemu chłodzeniu w wymienniku – generatorze pary wodnej. W dalszej kolejności gaz procesowy podlega schłodzeniu i oczyszczeniu w układzie obejmującym skruber wodny i zespół wymienników. Drobne pyły z układu odpylenia reaktora zgazowania zawracane są do reaktora, natomiast żużel i gruby popiół z reaktora kierowane są po schłodzeniu na składowisko odpadów (rys. 2).



Rys. 2. Schemat instalacji zgazowania
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Diagram of gasification installation

3. Studium przypadku – założenia

Podstawę do kalkulacji całkowitych kosztów (nakłady inwestycyjne, koszty operacyjne) przeliczanych na jednostkę wytwarzanego produktu końcowego stanowi arkusz kalkulacyjny – zwykle model bazujący na analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych (*discounted cash flow analysis* – DCF), w którym ryzyko uwzględnione jest w stopie dyskontowej. Wykonana zgodnie z takim podejściem kalkulacja COE (LCOE) (patrz wzór 1) stanowi obecnie pewien standard w zakresie oceny efektywności ekonomicznej (kosztowej) i porównywalności przedsięwzięć inwestycyjnych z obszaru energetyki (Kwaśniewski i in. 2015).

$$COE = \frac{\sum_{t=1}^n (NI_t + KO_t + KP_t)(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^n E_t (1+r)^{-t}} \quad (1)$$

gdzie:

COE	–	zaktualizowany, jednostkowy koszt wytwarzania produktu – gazu procesowego,
n	–	okres uśredniania kosztu (ekonomiczny czas życia projektu),
NI_t	–	nakłady inwestycyjne w roku t ,
KO_t	–	koszty operacyjne (bez kosztów paliwa) w roku t ,
KP_t	–	koszty paliwa w roku t ,
E_t	–	produkcja energii elektrycznej w roku t ,
r	–	stopa dyskonta,
t	–	rok.

3.1. Założenia techniczne

Założono, że instalacja produkcji gazu surowego dla bloku energetycznego będzie posiadała wydajność odpowiadającą zużyciu 92 Mg/h surowca węglowego. Paliwem do instalacji produkcji gazu surowego dla bloku energetycznego będzie 30% mieszanki mułu i miału w proporcjach (71,7/28,3%) i 70% RDF (30% udziału frakcji biodegradowalnej).

Założono, że kaloryczność paliwa z odpadów (RDF) jest taka sama jak kaloryczność mieszanki węglowej. W instalacji do produkcji gazu surowego wykorzystywany będzie, również azot z instalacji separacji powietrza – głównie do transportu paliwa do reaktora zgazowania, a także do tworzenia atmosfery ochronnej w układach dozowania paliwa.

3.2. Założenia ekonomiczne

Podejmowanie, budowa oraz funkcjonowanie przedmiotowej inwestycji oznacza ponoszenie zarówno sukcesywnych nakładów inwestycyjnych, jak i bieżących kosztów produkcji (stałych oraz zmiennych) ponoszonych w trakcie fazy operacyjnej przedsięwzięcia. Stronę dochodową stanowią przychody uzyskiwane głównie z tytułu sprzedaży gazu procesowego oraz odbioru odpadów komunalnych. Wielkości te – oraz ich wzajemne relacje – zostały metodycznie ujęte w sposób przedstawiony poniżej.

W tabelach poniżej przedstawiono początkowe założenia dla analizowanego wariantu:

- podstawowe założenia operacyjne – tabela 2,
- CAPEX – tabela 3,
- OPEX – tabela 4,
- bazowe założenia mikroekonomiczne – tabela 5.

Koszt emisji CO_2 w przypadku zastosowania domieszki paliwa odpadowego – RDF wyliczono przyjmując w niej zawartość 30% udziału frakcji biodegradowalnej.

Założono 2,5% średnioroczny wzrost cen.

TABELA 2. Podstawowe założenia operacyjne

TABLE 2. Basic operational assumptions

Inflacja PPI	2,5%
Stopa dyskontowa	9,0%
Okres analizy	
Czas budowy [lata]	4
Czas operacyjny [lata]	30
Dyspozycyjność [godz./rok]	7 200
Produkt	
Gaz procesowy [GJ/rok]	6 984 866,49
CAPEX – rozkład	
Rok 1 [%]	5,0%
Rok 2 [%]	25,0%
Rok 3 [%]	50,0%
Rok 4 [%]	20,0%
OPEX	
Paliwo	9,0% miał, 21,0 % muł + 70,0% RDF = 663 727,68 Mg/rok
Energia – zapotrzebowanie	10 MW
Praca	68 pracowników

Źródło: opracowanie własne.

TABELA 3. CAPEX

TABLE 3. CAPEX

CAPEX [zł 2017]		
Pozycje ogólne	mln zł	6,73
Dokumentacja		26,92
Układ składowania i przygotowania paliwa		114,76
Układ zgazowania i oczyszczania gazu		445,13
Szkolenie i rozruch		6,73
Rezerwa		30,01
Całkowite nakłady inwestycyjne		630,30

Źródło: opracowanie własne.

TABELA 4. OPEX

TABLE 4. OPEX

OPEX [zł/rok]		
Zużycie mialu	mln zł	13,14
Zużycie mułu		3,34
Zużycie RDF		-63,18
Zużycie energii na potrzeby własne		9,07
Gospodarka odpadami (utyliczacja pozostałości po procesowych)		20,54
Chemikalia i katalizatory – zgazowanie		1,00
Naprawy, serwisy i remonty		2,38
Wynagrodzenia wraz z pochodnymi		5,85
Podatki i opłaty		6,36
Ubezpieczenia		3,18
Całkowite koszty roczne		10,12

Źródło: opracowanie własne.

TABELA 5. Prognozy cen na rok bazowy 2018

TABLE 5. Price forecast for the base year 2018

		2018
Cena mialu węglowego	zł/Mg	220
Cena mułu		24
Cena RDF		-136
Cena za odpady stałe		300
Cena energii elektrycznej	zł/MWh	185

Źródło: opracowanie własne.

4. Studium przypadku – wyniki

Otrzymane w wyniku obliczeń wartości COE dla analizowanego wariantu pokazano w tabeli 6 porównując go z rynkowymi (na dzień analizy) wartościami jednostki GJ energii w paliwach tradycyjnych, tj. gazie ziemnym, węglu brunatnym i węglu kamiennym stanowiącymi punkt odniesienia dla proponowanych rozwiązań.

TABELA 6. Zestawienie wyników

TABLE 6. Results

	Gaz procesowy	Gaz ziemny	Węgiel brunatny	Węgiel kamienny
COE [zł/GJ]	7,14	30,70	7,20	9,70

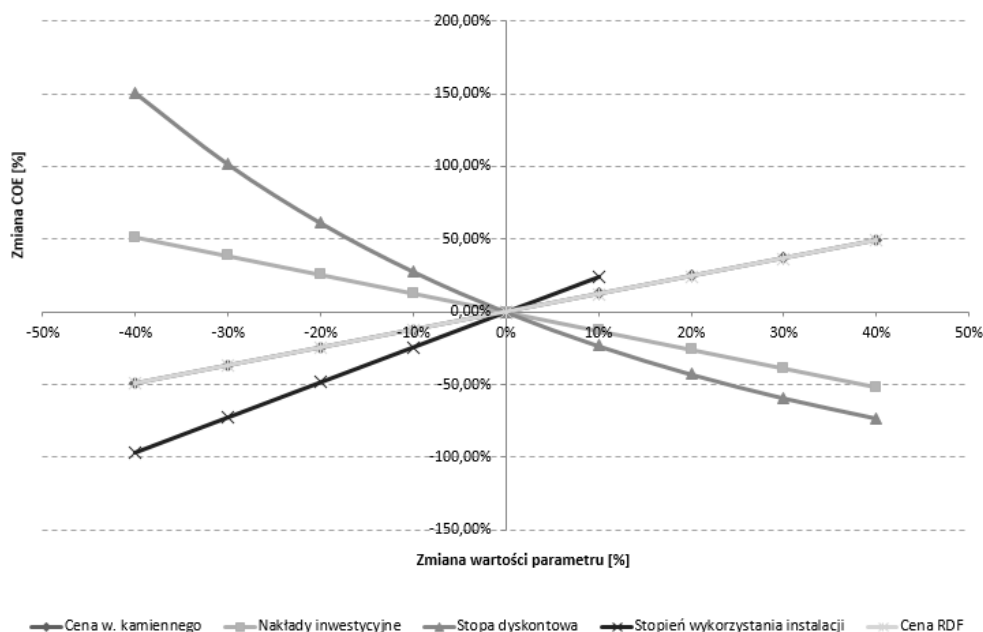
Źródło: opracowanie własne.

4.1. Analiza wrażliwości

Analiza DCF zakłada, że poszczególne zmienne kluczowe przedsięwzięcia przyjmą wartości oczekiwane, stąd też jedynym parametrem odzwierciedlającym ryzyko przedsięwzięcia w analizie DCF jest stopa dyskonta. W tej części pokazano oddziaływanie zmian najważniejszych parametrów projektu na wartość COE analizowanych wariantów.

Uwzględniono odchylenia następujących parametrów:

- cena mialu/mułu węglowego,
- cena RDF,
- wartość nakładów inwestycyjnych,



Rys. 3. Analiza wrażliwości wartości COE

Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Sensitivity analysis of COE

- stopa dyskontowa,
- stopień wykorzystania instalacji.

Założono zakres zmian zmiennych decyzyjnych co 10% w zakresie $\pm 40\%$. Pogląd na wpływ zmian poszczególnych zmiennych na wielkość COE przedstawia rysunek 3. Wyniki analizy należy interpretować separacyjnie – analiza realizowana jest zgodnie z założeniem, że w każdym wariancie następuje zmiana jednej zmiennej przy zachowaniu wszystkich pozostałych zmiennych kluczowych na poziomie wyjściowym. Przedmiotowe przedsięwzięcie jest szczególnie wrażliwe na stopień wykorzystania instalacji.

Wnioski

Aby uzyskać graniczną akceptowalną efektywność procesu zgazowania paliw odpadowych do produkcji alternatywnego paliwa, gazu procesowego, konieczne jest uzupełnienie mieszanki miał-muł z domieszką RDF. W efekcie otrzymujemy jednostkowy koszt paliwa mierzony wskaźnikiem zł/GJ niższy niż w przypadku węgla kamiennego, a porównywalny z węglem brunatnym. Z jednej strony powoduje to istotne obniżenie kosztów mieszanki wsadowej, z drugiej zaś powstaje problem powstałych w ten sposób odpadów stałych, których klasyfikacja jest zdecydowanie mniej korzystna od odpadów ze zgazowania miałów i mułów węglowych. Wykorzystanie mułów węglowych do produkcji gazu procesowego w sposób efektywny ekonomicznie jest możliwe jedynie w przypadku zmian w systemie regulacji prawnych umożliwiających pobieranie opłat za utylizację odpadów przemysłowych – mułów węglowych. Wyznaczenie ceny granicznej w tym przypadku jest zadaniem stosunkowo prostym. Jednak najistotniejszą przesłanką przemawiającą za wykorzystaniem technologii zgazowania odpadów jest nierozwiązany dotychczas problem ich utylizacji.

Praca sfinansowana przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie (dotacja podmiotowa na utrzymanie potencjału badawczego).

Literatura

- Chmielniak, T. i Ściążko, M. 2008a. *Czysta energia produkty chemiczne i paliwa z węgla – ocena potencjału rozwojowego. Zgazowanie węgla*. Wyd. IChPW.
- Chmielniak, T. i Ściążko, M. 2018b. *Wyniki analizy procesowej instalacji zgazowania paliw odpadowych w reaktorze fluidalnym* (materiał niepublikowany).
- IChPW 2008. *Czysta energia, produkty chemiczne i paliwa z węgla – ocena potencjału rozwojowego*. Praca zbiorowa. Zabrze: Wydawnictwo IChPW.
- IEA 2005. *Projected Costs of Generating Electricity Update*, OECD/IEA.
- Komisja Wspólnot Europejskich 2006 – Zielona Księga – Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii, Bruksela.
- Komisja Wspólnot Europejskich 2007. Pakiet energetyczny, Bruksela.
- Komisja Wspólnot Europejskich 2007. Pakiet liberalizacyjny, Bruksela.
- Komisja Wspólnot Europejskich 2008. Pakiet klimatyczny, Bruksela.

- Kwaśniewski i in. 2015 – Kwaśniewski, K., Kopacz, M., Kaplan, R., Grzesiak, P. i Sobczyk, J. 2015. Zgazowanie węgla: uwarunkowania, efektywność i perspektywy rozwoju red. Kwaśniewski K. i Kopacz M., Kraków: Wyd. AGH.
- MOS 2014. Aktualizacja Krajowego planu gospodarki odpadami 2014.
- NETL 2011. *Quality guidelines for Energy System Studies: Cost Estimation Methodology for NETL Assessments for Power Plant Performance*, DOE/NETL-2011/1455, April 2011.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach. Dziennik Ustaw RP Warszawa, 1 września 2015 r. Poz. 1277.
- Szuba, J. i Michalik, L. 1983. *Karbochemia – zarys rozwoju*. Wyd. Śląsk.

